



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

LINEÁRNÍ POSUVOVÉ SOUSTAVY VE STAVBĚ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

LINEAR FEED SYSTEMS IN CONSTRUCTION OF MACHINE TOOLS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ROMAN DVOŘÁK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BLECHA, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Roman Dvořák

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Lineární posuvové soustavy ve stavbě obráběcích strojů

v anglickém jazyce:

Linear feed systems in construction of machine tools

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student provede rešerši, popis a uspořádání lineárních posuvových soustav používaných ve stavbě obráběcích strojů. Dále připraví přehled základních výpočtů potřebných pro jejich konstrukční návrh.

(pozn.: možné dělení dle typu vedení na 3 konkrétní zadání)

Cíle bakalářské práce:

Rešerše lineárních posuvových soustav používaných ve stavbě obráběcích strojů.

Popis a roztržidění lineárních posuvových soustav používaných ve stavbě obráběcích strojů.

Sestavit přehled základních výpočtů potřebných pro návrh lineární posuvové soustavy.

Seznam odborné literatury:

Marek, J.; Konstrukce CNC obráběcích strojů, ISSN 1212-2572

Borský, V.; Obráběcí stroje, ISBN 80-214-0470-1

Borský, V.; Základy stavby obráběcích strojů, VUT Brno

Borský, V.; Základy stavby obráběcích strojů, VUT Brno

Breník, Píč a kol.; Obráběcí stroje - konstrukce a výpočty, Technický průvodce 59, SNTL Praha 1982

www.infozdroje.cz

www.mmspektrum.com

[www stránky výrobců komponent lineárních os obráběcích strojů](#)

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 19.11.2009

L.S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt:

Obsahem této práce je detailní popis částí lineární posuvové soustavy obráběcích strojů, jejich výhod a způsobu využití. Součástí práce je přehled základních výpočtů potřebných pro návrh lineární posuvové soustavy. Práce klade důraz na kvalitu a způsob řešení výroby.

Klíčová slova: lineární posuvové soustavy, krytování, způsoby posuvu, lineární pohony, rotační pohony.

Abstract:

This bachelor thesis deals with a detailed description of the linear part of the Feed System of machine tools, their advantages and methods of use. Part of this work is an overview of the basic calculations required to design a linear feed system. This paper focuses on the quality and method of manufacturing solutions.

Keywords: linear feed system, conveyor, feed methods, linear actuators, rotary actuators.

Bibliografická citace mé práce:

DVOŘÁK, R. *Lineární posuvové soustavy ve stavbě obráběcích strojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 50 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tuto bakalářskou práci *Lineární posuvové soustavy ve stavbě obráběcích strojů*. jsem vypracoval a napsal samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.. V závěru práce jsem uvedl veškeré použité zdroje a literaturu.

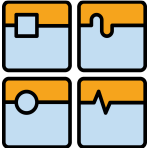
Roman Dvořák V Brně dne 24. Května 2010

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu bakalářské práce, doc. Ing. Petrovi Blechovi, Ph.D za poskytnuté informace, rady a připomínky k této práci. A v neposlední řadě děkuji svým rodičům za poskytnuté technické a finanční zázemí

Obsah:

Obsah:	1
1. Úvod a seznámení s problematikou	3
2. Způsob pohonu.....	4
2.1. Rotační motory.....	4
2.1.1. Synchronní motor	4
2.1.2. Asynchronní motory s měničem frekvence.....	5
2.1.3. Krokové motory	6
2.2. Lineární motory	7
2.2.1. Lineární elektromotor.....	7
2.2.2. Pneumatický válec.....	11
2.2.3. Hydraulický válec.....	13
3. Způsob posuvu	14
3.1. Kuličkový šroub a matice	14
3.2. Pastorek a hřebec.....	21
3.3. Šnek a šnekový hřebec.....	23
3.4. Pastorek a ozubený řemen	23
4. Vedení	24
4.1. Kluzná vedení	25
4.1.1. Hydrodynamické vedení	25
4.1.2. Hydrostatické vedení	26
4.1.3. Aerostatické vedení.....	28
4.2. Valivé vedení	29
4.3. Kombinované	33
5. Odměřování polohy	34

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 2
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

5.1.	Druhy odměřovacího signálu	34
5.1.1.	Fotoelektrické	34
5.1.2.	Induktivní	34
5.1.3.	Magnetické	35
5.1.4.	Laserové.....	35
5.2.	Způsoby odměřování	35
5.2.1.	Odměřování přímé	35
5.2.2.	Odměřování polohy nepřímé	36
6.	Krytování	37
6.1.	Rolety a zástěny	37
6.2.	Teleskopické kryty	37
6.3.	Krycí měchy	37
6.4.	Spirálové krytování	37
7.	Mazání.....	38
7.1.	Mazání olejem.....	38
8.	Základní výpočty pro návrh lineární posuvové soustavy	40
9.	Závěr	48
10.	Seznam použitých zdrojů	49

1. Úvod a seznámení s problematikou

Strojírenský průmysl tvoří nemalou část ekonomiky každého vyspělého státu. Lineární posuvové soustavy, které jsou předmětem této práce, se využívají téměř ve všech odvětvích průmyslové výroby.

Každý stroj je sestaven z několika stavebních částí, které zaručují přesnost a bezporuchovost chodu stroje. Podmínky ve výrobě se ovšem neustále mění. Jsou kladeny čím dál větší nároky na přesnost. Přitom se vyžaduje nejvyšší řezný výkon při hrubování a následně vysoká přesnost obrábění načisto. Současně jsou nezbytné vysoké posuvy s cílem dosažení co možno nejkratšího času obrábění. Z tohoto se potom odvíjí cena vyráběné součásti.

Lineární posuvová soustava zajišťuje posuv nástroje, nebo obrobku po osách stroje. Tento souhrn konstrukčních prvků, kterým se tato práce zabývá, je rozdělen do šesti základních kapitol (tab.1): způsob pohonu, způsob posuvu, vedení, odměřování polohy, krytování a mazání.

Cílem této práce je popsat základní rozdělení lineárních posuvových soustav obráběcích strojů.

Lineární posuvová soustava						
Způsob pohonu		Způsob posuvu	Vedení	Odměřování polohy	Krytování	Mazání
Rotační motor	Lineární motor	Kšm	Valivé	Přímé	Rolety a zástěny	Olejem
Synchronní motor	Lineární elektromotor	Pastorek a hřeben	Kluzné	Nepřímé	Teleskopické kryty	Tukem
Asynchronní motor	Pneumatický válec	Šnek a šnekový hřeben		Absolutní	Krycí měchy	
Krokový motor	Hydraulický válec	Pastorek a řemen		Inkrementální	Spirálové krytování	

tab. 1. Rozdělení lineární posuvové soustavy [11]

2. Způsob pohonu

2.1. Rotační motory

Rotační motory se dělí na:

2.1.1. Synchronní motor

Pohony se synchronními motory s permanentními magnety na rotoru jsou v současnosti nejpoužívanějšími motory pro polohové servomechanismy.

Synchronní motor je elektrický stroj, jehož rotor se otáčí synchronně s otáčením točivého magnetického pole statoru. Stator je shodný se statorem asynchronního motoru s drážkami pro uložení statorového vinutí. Vinutí je zpravidla třífázové, rozložené do statorových drážek a podle konstrukce může být dvoupólové nebo vícepólové. Synchronní motor nevyvine z klidu točivý moment, proto potřebuje roztočit rotor na synchronní otáčky.

Magnety mohou být umístěny na povrchu rotoru buď jako zapuštěné (v tom případě je méně potlačen vliv tzv. reakce statorového vinutí na tvar pole ve vzduchové mezeře), nebo na povrchu rotoru, což představuje umístění ve vzduchové mezeře (výhodou je potlačení vlivu reakce statorového vinutí vlivem velké vzduchové mezery, neboť permanentní magnety mají prakticky stejnou permeabilitu jako vzduch)

Jako materiálu pro výrobu permanentních magnetů se používá vzácných zemin, jako jsou např. samarium - kobalt, nebo neodym - železo - bor, případně i tvrdých feritů, které jsou levnější, avšak s horšími magnetickými vlastnostmi [19]

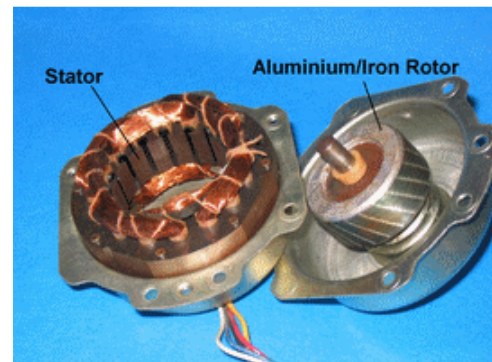


obr. 1. Synchronní motory [2].

2.1.2. Asynchronní motory s měničem frekvence

Asynchronní motor je nejrozšířenějším typem motoru, používaným pro pohony pracovních strojů. Zejména asynchronní motor s rotorem nakrátko vyniká jednoduchou konstrukcí, je robustní, spolehlivý a vyrábí se hromadně v unifikovaných výkonových řadách a v přijatelných cenových relacích.

Asynchronní motor je tvořen statorem, tvořeným lištěným statorovým paketem, v jehož drážkách je vloženo statorové vinutí, navinutý statorový paket je vložen do kostry statoru. Na kostře je obvykle umístěna svorkovnice, na jejíž svorky jsou vyvedeny konce statorových vinutí. Rotor je buď klecový, tj. s vinutím, tvořeným hliníkovými nebo měděnými tyčemi, spojenými na obou koncích kruhovými čely nakrátko, nebo kroužkový. S vinutím izolovanými vodiči uloženými v rotorových drážkách, jehož konce jsou vyvedeny na rotorové sběrací kroužky. Ke konstrukčním dílům asynchronního motoru dále patří hřídel rotoru, uložená v ložiscích v předním a zadním štítu stroje. Asynchronní motory pro servopohony mívají namontovány snímače otáček, případně polohy. [19]



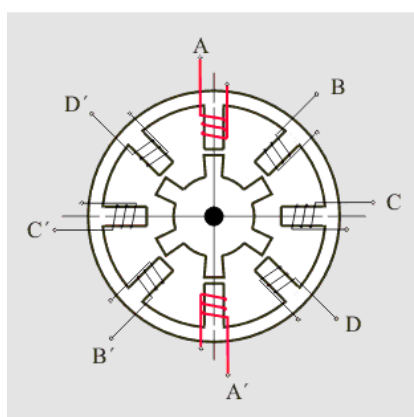
obr. 2. Asynchronní motor [13]

obr. 3. Zobrazení vnutí asynchronního motoru [6]

2.1.3. Krokové motory

Rozvoj automatizační techniky si vyžádal konstrukci nových elektromechanických zařízení, kterým se říká krokové motory.

Krokový motor je speciální synchronní motor, pracující synchronně se vstupními impulsy. Jestliže na vstup přijde jeden impuls, rotor se pootočí o určitý úhel (krok) a zastaví se (obr. 4). Až do příchodu dalšího impulsu je poloha rotoru stabilní a neměnná. Přicházejí-li vstupní impulsy postupně, opakuje se s každým impulsem krokové pootočení a zastavení, takže rotor "krokuje" synchronně s impulsy. Celkový úhel natočení hřídele a rychlost otáčení jsou úměrné frekvenci vstupních impulsů. Při malé frekvenci vstupních impulsů je chod motoru trhavý, rotor "krokuje" v rytmu řídicích impulsů. Od určité frekvence je chod motoru prakticky plynulý. Při dosažení maximální pracovní frekvence impulsů je motor na hranici synchronizmu a při dalším zvýšení frekvence se zastaví. Krokový motor je schopen synchronně sledovat i skokovou změnu frekvence impulsů nepřesahující jistou velikost; buď naskočí se ztrátou kroků, nebo se nerozběhne. Při skokovém snížení frekvence impulsů pak přeběhne synchronní polohu. [17]



obr. 4. Zobrazení a princip vynutí u krokových motorů [1], [17].

OPIS Engineering

Tato firma působí na trhu od roku 1992, kdy byla společnost založena jako zástupce tehdy třetího největšího výrobce pohonů - italské společnosti BONFIGLIOLI GROUP. Zabývá se širokým sortimentem v oblasti pohonné techniky.



obr. 5. Krokové motory společnosti OPIS Engineering [15]

2.2. Lineární motory

2.2.1. Lineární elektromotor

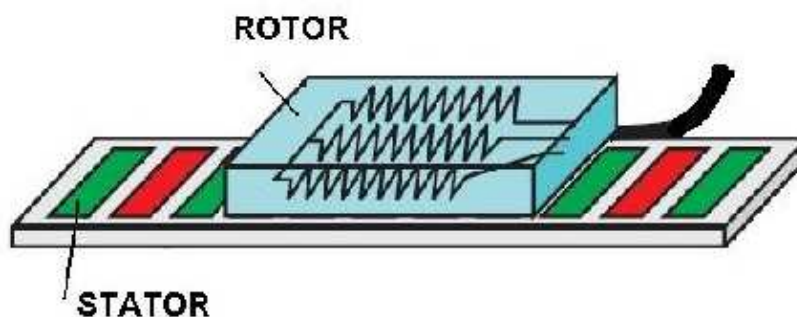
K velkému rozvoji výroby a k praktickému uplatnění lineárních motorů a pohonů došlo až v posledních letech. V současné době vliv technického vývoje a tvrdší konkurenční boj mezi výrobci zapříčinil velký nárůst vhodných aplikací pro nasazení lineárních motorů.

Princip elektrického motoru

Lineární motor pracuje na indukčním principu. V podstatě je to klasický rotační motor, který je rozvinutý do roviny a umožňuje lineární pohyb (do leva a do prava) bez převodu. Statorem u lineárních motorů je označován primární díl a rotorem sekundární díl.

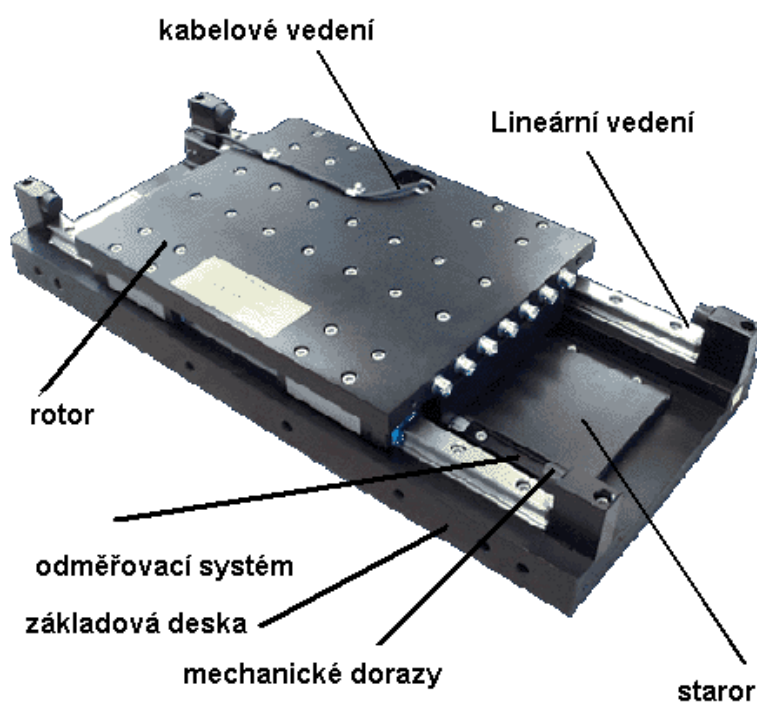
Primární část je tvořena stejně jako u klasických strojů feromagnetickým svazkem složeným z elektrotechnických plechů a trojfázového vinutí uloženého v jeho drážkách.

Proti primárnímu dílu je konstrukčně uspořádána sekundární část tvořená permanentními magnety, které jsou nalepeny na ocelové podložce. Pokud přivedeme do primární části (jezdec) řídící proud, vznikne magnetické pole mezi oběma částmi a dojde k pohybu jezdce. Úrovní proudu můžeme ovládat rychlost pohybu. Pokud je potřeba větších posuvových sil, motory se zdvojí. [16]



obr. 6. Princip lineárního motoru [17]

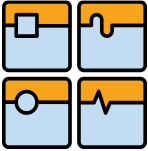
V praxi vypadá motor trochu jinak (obr. 7)



obr. 7. Lineární motor [17]

Stále se vyvíjející elektronické prvky, které umožňují plynulé řízení rychlosti a zpřesňují polohování celého lineárního systému, poskytují výrobcům širší prostor v oblasti technického využití těchto dynamických pohonů.

Možnosti klasických rotačních motorů s mechanickým převodem z pohybu rotačního na pohyb lineární jsou totiž v řadě průmyslových aplikací využívány na mezi dynamiky dané setrvačnými hmotami a na mezi přesnosti dané mechanickými

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 9
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

vůlemi. Klasický pohon vykazuje v místech převodu (rotační motor - kuličkový šroub - lineární vedení) značné tření, pružnost a vůli. U lineárního motoru tyto nevýhody odpadají a přesnost polohování je závislá pouze na typu odměřovacího systému.

Stavba lineárních motorů

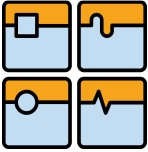
Jedná se o elektromotory, které nemají žádný vložený převod (ozubená kola, řemeny). Z tohoto důvodu vyvozují posuvovou sílu přímo na suport stroje. Elektromagnetická síla vzniká mezi pohyblivým primárním dílem a pevným sekundárním dílem.

Primární část je tvořena stejně jako u klasických strojů feromagnetickým svazkem složeným z elektrotechnických plechů a trojfázového vinutí uloženého v jeho drážkách.

Sekundární část je tvořena permanentními magnety, které jsou nalepeny na ocelové podložce. Pokud přivedeme do primární části řídicí proud, vznikne magnetické pole mezi oběma částmi a dojde k pohybu jezdce. Úrovní proudu můžeme ovládat rychlost [16]



obr. 8. Lineární motor firmy Hiwin [16].

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 10
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Využití lineárních pohonů

Lineární motor je nasazován v aplikacích, kde jsou menší akční síly, ale velmi vysoké rychlosti. Mezi přednosti lineárních motorů patří libovolně stavitelná magnetická dráha, vysoká přesnost polohy, velké dosahované rychlosti a zrychlení a jednoduché řízení. Obzvláště velkou výhodou je možnost více sekundárních částí (jezdců) na jedné magnetické dráze, které se pohybují nezávisle na sobě. Nejčastější využívání lineárních motorů je u vysokorychlostního obrábění, laserového obrábění, svařování, přesného řezání atd.

Oproti kuličkovým šroubům mají tyto konstrukce vyšší rychlosti i zrychlení a jsou jednodušší na výrobu. Nemají však takovou posuvovou sílu a přesnost odměřování. [11]

Mezi firmy vyrábějící Lineární motory patří:

Hiwin

Lineární motory vyráběné společností Hiwin jsou ve většině konstrukcí trojfázové synchronní motory s permanentními magnety. Sekundární díly jsou vyráběny v segmentech o délkách 192, 256, 320, 384, 448 a 512 mm. Vyrábí se ve dvou základních řadách LMC a LMS. Řada LMC je určena pro lehčí aplikace se zatížením do $F_{p_{max}} = 342\text{N}$ (špičková síla).

Motor se skládá z nekovové primární části (jezdec) s trojfázovým vinutím a sekundární části (magnetická dráha), tvořené permanentními magnety. Díky nekovové primární části je motor velice lehký a vhodný pro dynamické aplikace. Řada LMS je vhodná pro střední zatížení se silou do $F_{p_{max}} = 5000\text{ N}$. Motor je tvořen kovovou primární částí z elektrotechnických plechů s cívkami a sekundární částí. Trojfázové synchronní motory LMS vynikají velkou hustotou sil, takže se hodí pro větší zatížení. [16]



obr. 9. Trojfázový motor [16].

Fanuc

Lineární motory dosahují špičkové síly od 300 N, až do 17000 N. Jsou k dispozici různé tvary lineárních motorů, aby se přizpůsobily mechanickým požadavkům, které vyplývají z konstrukce stroje. Spolu s digitálními zesilovači FANUC dosahují lineární motory maximálního zrychlení až do 340 m/s² a rychlostí až 4 m/s. [7]

2.2.2. Pneumatický válec

Tento způsob náhonu je velice levnou variantou pro provoz posuvové soustavy. Nejčastěji se používá u kleštin, které svírají nástroj.

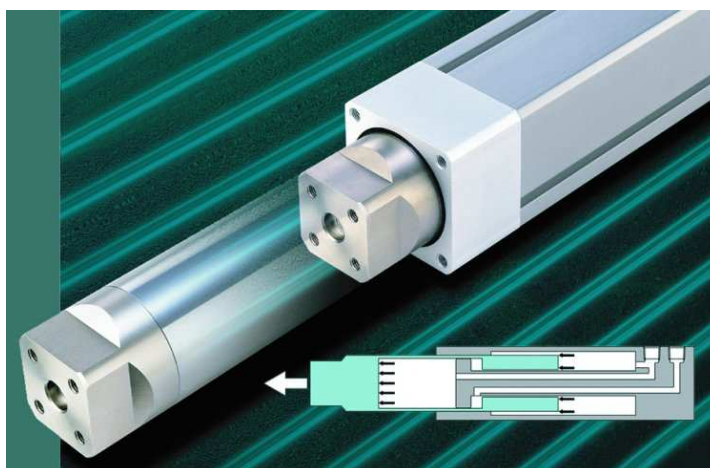
Nevýhody: Čím větší pneumatický válec se používá, tím větší jsou náklady na jeho provoz. Stlačený vzduch musí při vysouvání pístnice překonat třecí sílu mezi těsněním pístu a trubicí válce. Tato třecí síla je přímo úměrná minimálnímu operačnímu tlaku pneumatického válce. I v tomto případě platí, že levné je nakonec drahé. Nižší náklady na pořízení méně kvalitního válce s vyšším minimálním operačním tlakem se později draze zaplatí vyššími provozními náklady[21]



obr. 10. Pneumatický válec [11]

Trendy

Pneumatický multiplikátor tlaku řady VBA. Ten dokáže pomocí dvou spojených pístů až čtyřnásobně zvýšit tlak stlačeného vzduchu. Pokud všechna zařízení pracují s provozním tlakem 0,5 MPa a pouze jedno vyžaduje vyšší provozní tlak, je neekonomické tlakovat celý systém rozvodu stlačeného vzduchu na vyšší tlak. Mnohem účinnější je systém provozovat s tlakem 0,5 MPa a pouze v místě lokální potřeby vyššího tlaku nasadit multiplikátor.



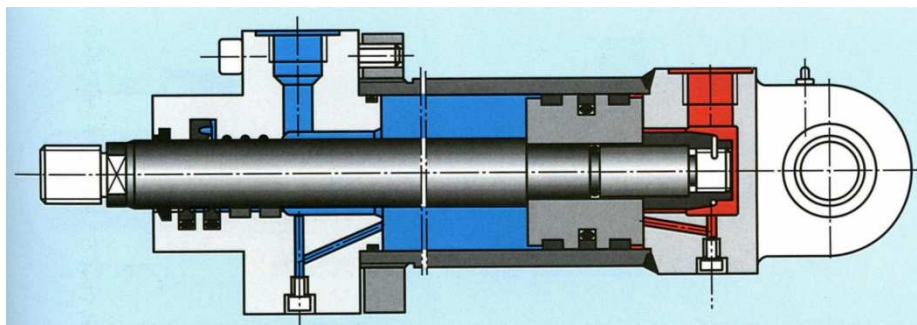
obr. 11. Pneumatický multiplikátor [21]

2.2.3. Hydraulický válec

Hydraulické válce jsou jednočinné nebo dvoučinné hydraulické motory s přímočarým vratným pohybem. Slouží jako pohonné jednotky hydraulicky ovládaných zařízení.

Využívají se pro posun suportu brusky, posun pilového kotouče brusky, dále pro hnací systém stolu hoblovek, ovšem pro menší zdvihy. Nejvíce se využívají v automobilovém průmyslu.

Řídí se pomocí ventilu pro řízení průtoku oleje.



obr. 12. Řez hydraulickým válcem [9]

3. Způsob posuvu

3.1. Kuličkový šroub a matice

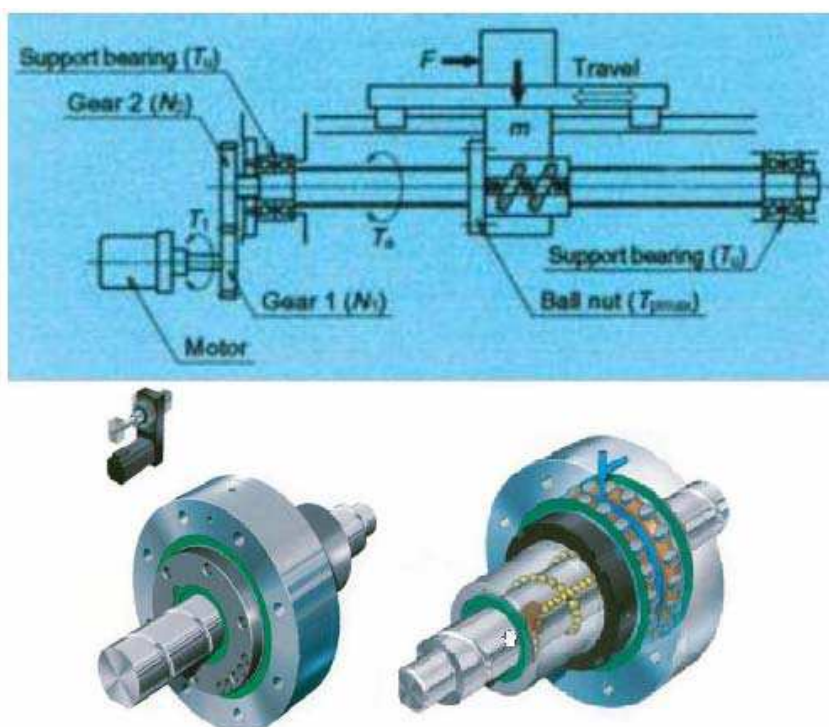
Jedná se o šroub s maticí, kterým mezi závity obíhají kuličky pro zvýšení účinnosti (90% i více) i pro zmenšení opotřebení závitu. Šroub i matice jsou vyrobeny z oceli. Povrchy jejich závitů jsou kalené a broušené a musejí být vyrobeny s velkou přesností. Šrouby se dají vyrábět i tvářením, tedy válcováním profilu. Výhodou je cena, ale menší přesnost.

Pokud využíváme kuličkový šroub s maticí, koná motor rotační pohyb, který je přes kuličkový šroub převeden na pohyb přímočarý. Toto provedení má dvě možnosti využití náhonu.

První možností je náhon přivedený na šroub, přičemž matice stojí.

Druhá možnost je přivedení náhonu na matici, kdy stojí šroub.

V některých případech může být využito i provedení obou možností naráz, přičemž otáčivý pohyb vykonává šroub i matice [11].



obr. 13. Provedení pohonu pohybového šroubu a matice [11]

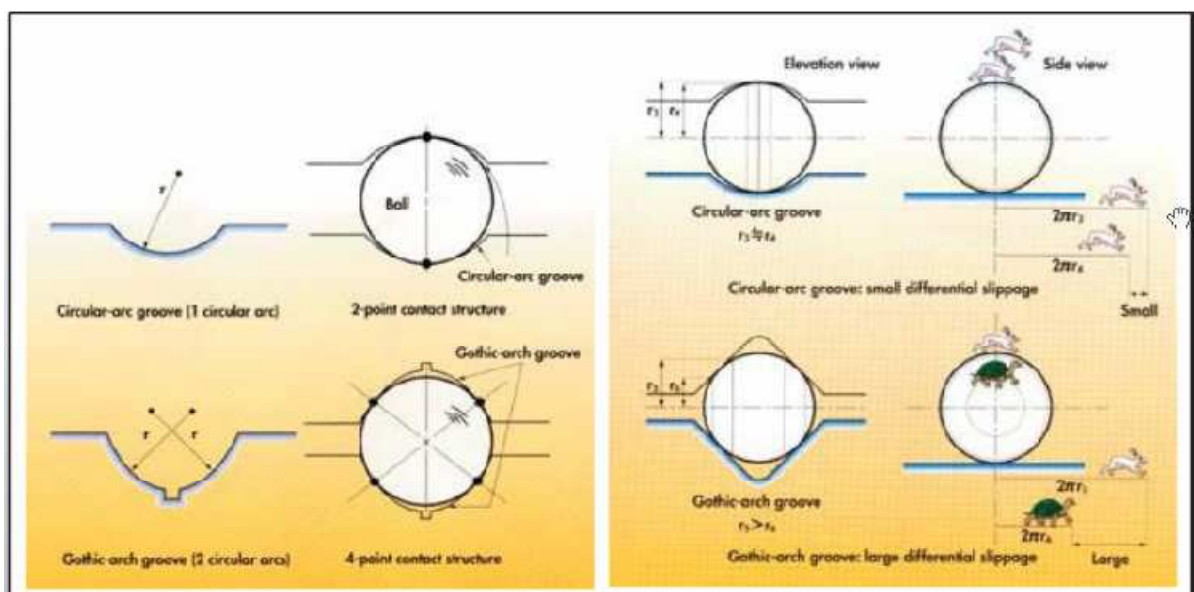
Při výrobě profilové drážky pro odvalování kuliček a šroubu s maticí se používají dva profily závitů:

S gotickým profilem

Toto provedení se v praxi používá nejčastěji. Mezi jeho výhody patří vysoká přesnost, možnost vymezení vůle a možnost předepnutí.

S kruhovým profilem

Toto provedení je jednodušší na výrobu. Nevýhodou je však horší účinnost. Používá se pro válcované závity. Výhodou je cena.



obr. 14. gotický a kruhový profil závitů kuličkového šroubu [THK] [11]

Převádění kuliček je realizováno třemi způsoby:

Převáděcí trubka

Tento způsob se provádí u těžkých zatížení. Vkládá se několik trubek pro převod kuliček. Využívá se pro masovou výrobu a běžná stoupání.

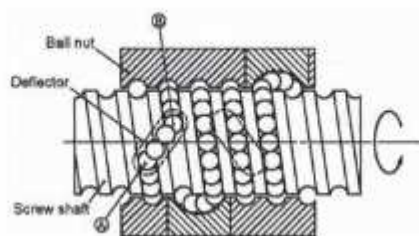


obr. 15. Převáděcí trubka [11]

Deflektor

Provádí se u nižších zátěží. Převádí se pomocí jednoho závitu. Využívá se u malého stoupání.

deflektor

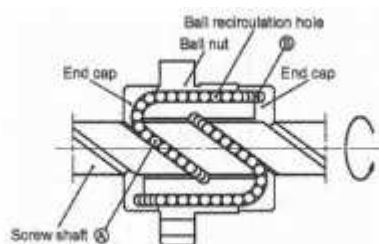


obr. 16. Deflektor [11]

Převáděcí kanál

Provádí se u středních zátěží. Vkládá se několik převáděcích kanálů. Využívá se pro velká stoupání.

převáděcí kanál



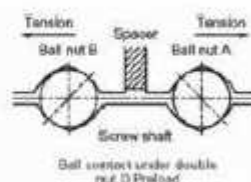
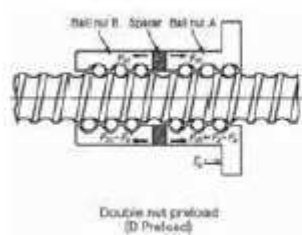
obr. 17. Převáděcí kanál [11]

Způsoby předepnutí

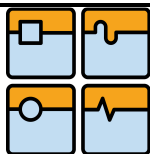
1. Vymezovací podložkou

Pomocí nabroušené podložky je mezi maticemi nastaveno předpětí. Užívá se pro matice s výbornou tuhostí

vymezovací podložka



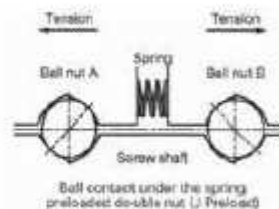
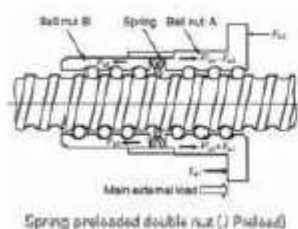
obr. 18. Vymezovací podložka [11]



2. Talířovou pružinou

Předeprnutí pomocí talířové pružiny se využívá pro delší matice a malé zatížení.

pružina

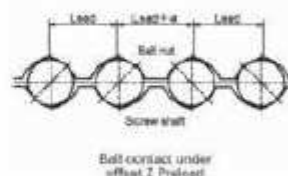
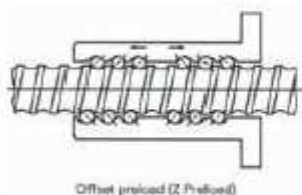


obr. 19. Talířová pružina [11]

3. Diferencí ve stoupání

Předeprnutí je provedeno pomocí nabroušení rozdílného stoupání. Využívá se pro střední délky matic s dobrou tuhostí

diference ve stoupání



obr. 20. Diference ve stoupání [11]

4. Dělenou maticí

Předeprnutí je dáno směrným spojem. Užívá se pro krátké matice s menší tuhostí.

dělená matice



obr. 21. Dělená matice[11].

5. Výběrem kuliček

Předpětí je dáno výběrem kuliček. Využívá se pro krátké matice s menší tuhostí.

Výhody a nevýhody KŠM

Výhody

- vysoká účinnost
- minimální oteplování během provozu
- možnost úplného vytěsnění vůle a možnost vytvoření předpětí a tím docílíme i vysoké tuhosti i přesnosti
- potlačení vzniku trhavých pohybů
- možnost převodu přímočarého pohybu na rotační

Nevýhody

- délkové omezení pohybu
- vysoká cena výroby
- tepelná roztažnost ve vysokých otáčkách
- při překročení maximálních otáček dochází k rozkmitu šroubu

Kuličkové šrouby vyrábějí firmy:

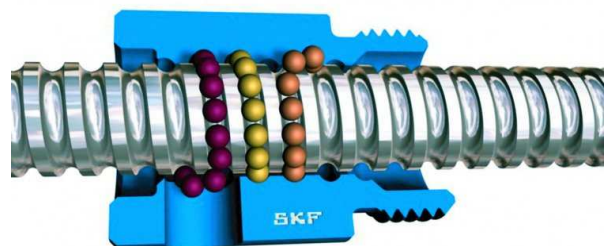
KSK KUŘIM



Firma se sídlem v České republice, výrobou kuličkových šroubů se zabývá od konce 70. let. Tato firma nabízí broušené, okružové i válcované kuličkové šrouby, které vyrábí ve třídách přesnosti IT1, IT3 a IT5, přičemž úchytky stoupání odpovídají normě ISO a DIN.

Materiálem, ze kterého jsou vyráběny kuličkové šrouby, je ocel 14 260 (hřídel) a 14 109, 14 209 (matice). Vyrábí více konstrukčních provedení maticových jednotek, např.: nepředepnutá válcová matice bez příruby, předepnutá dvojice válcových matic bez příruby, předepnutá dvouchodá rychloběžná matice s přírubou a nepředepnutá matice s přírubou pro válcovaný hřídel. [14].

SKF



Jedná se o švédskou firmu s dlouhou tradicí; byla založena roku 1907 Svenem Wingquistem, který chtěl na trh uvést svůj patent - dvouřadé kuličkové naklápěcí ložisko. Po velkém úspěchu a vyvinutí ještě dalších typů ložisek se podnik rozrostl natolik, že se začal věnovat výrobě i jiných typů strojních součástí, jako například kuličkové šrouby

V ČR nepřetržitě působí od roku 1919, Nabízí broušené i válcované šrouby podle standardu ISO, SH – miniaturní kuličkové šrouby v nominálním rozsahu 6 – 16mm, válcovaná matice s jedním závitovým koncem, dále vyrábí běžné kuličkové šrouby a šrouby s velkým stoupáním [9]

HIWIN



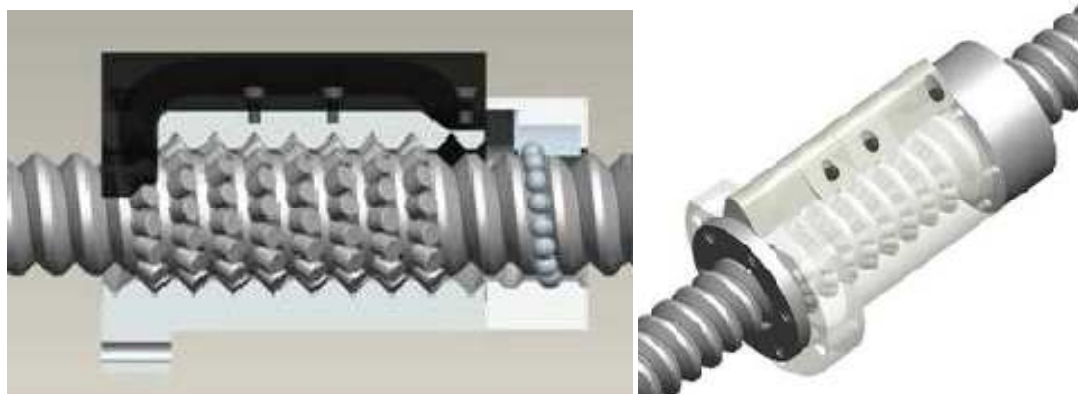
Tato firma se sídlem v Německu vznikla spojením slov „HI-tech a Winner“ (vysoká technologie a vítěz). Firma patří mezi špičku výrobců lineární techniky na celém světě.

Vyrábějí válcované šrouby s přesností od IT5-IT11, okroužkované šrouby s přesností IT3 – IT7 a broušené šrouby s přesností IT1 – IT5. [10]

Trendy

Novinkou od firmy Hiwin je válečkový šroub.

V těle šroubu jsou jako valivé elementy použity místo kuliček válečky. Šroub tak dosahuje až 2x vyšší únosnosti a díky tomu dochází k prodloužení životnosti až na dvojnásobek. Tuhost šroubu je také až dvojnásobná. Nevýhodou tohoto typu pohybového šroubu je možnost přenosu zatížení pouze v jednom směru. Předepnutí matice zajišťují kuličky, které také nesou případné zatížení v opačném směru. Časem by však měl jít do výroby, také šroub, který má válečky v obou směrech a ten tuto nevýhodu odstraní [14].



obr. 22. Válečkový šroub společnosti Hiwin [14]

3.2. Pastorek a hřeben

Pro pohony posuvů CNC pracovních stolu s dlouhými zdvihy (vrtací stroje, hoblovky, atd.), už není vhodné použít posuvové šrouby (tuhost, vysoké otáčky, velký převod). Proto zde nachází uplatnění hřeben a pastorek. Jinými slovy, kde končí výrobní možnosti kuličkových šroubů, jak z důvodu velkých délek nebo průměrů a kde jsou velké přesouvané hmoty (u velkých strojů), je doporučeno nasadit pastorek a hřeben.

Jelikož vzniká vůle mezi pastorkem a hřebenem. Je nutné ji vymežit. Pokud se jedná o náhon posuvu s jedním motorem, používá se: pružina, hydraulika, nebo duplexní pastorek. Pokud se jedná o náhon s motory dvěma. Používá se metoda elektrického předepnutí (Master Slave), která využívá schopnosti moderních řídicích systémů.

Nevýhodou je nesamosvornost. To vyžaduje aplikaci brzdy, jak pro svislé osy, tak v případě výpadku pohonu.

Jelikož mezi pastorkem a ozubeným hřebenem vzniká vůle, je nutné ji vymežit následujícími způsoby:

Náhon posuvu s jedním motorem

- mechanicky (pružinou)
- hydraulicky
- duplexní pastorek

Náhon posuvu dvěma motory

- elektrické (Master-Slave) [11]

Hydraulické vymezení vůle

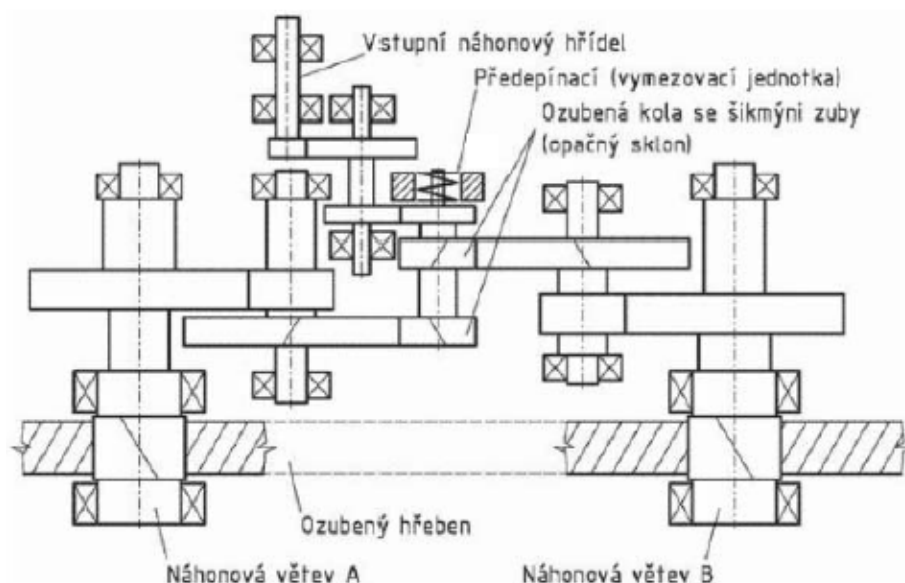
„Princip řešení je v tom, že posuvná hřídel s dvojicí pastorků s opačným sklonem šikmých zubů je trvale dotlačována do záběru pružinou (nebo hydraulicky), a tím je vymežována vůle v obou větvích A a B“ [4].

Duplexní pastorek

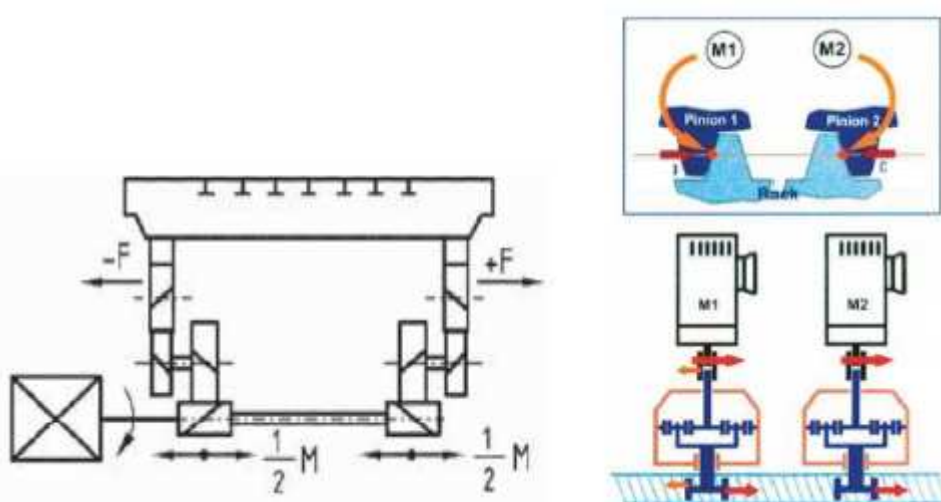
„Hřebeny mohou být o $\frac{1}{2}$ rozteče přesazeny a sklony šikmých zubů mají opačný smysl. Praktické využití tohoto principu pohonu je zejména pro pohon stolů hoblovek a vyvrtávaček větších velikostí. Výhodou je rovnoměrné rozdělení kroutícího momentu na obě větve kinematiky pohonu. Opačný smysl sklonu šikmých zubů vyrovnává přidavné radiální síly“ [4].

Náhon dvěma motory Master – Slave

Moderní metoda předeprnutí pastorku, která využívá schopnosti řídicích systémů. Master Slave jsou pastorky naháněny dvěma servomotory přes vložené planetové převodovky. Oba motory vyvíjejí stejné velikosti momentů, ale opačného smyslu, při nulovém zatížení. Jestliže začne působit kladná vnější zátěžná síla, bude např. levý motor závislý (Slave) a pravý (Master). Moment závislého motoru poroste, předpětí klesá až na nulu a pak oba motory budou působit ve stejném smyslu. [11]



obr. 23. Pohon pastorkem a hřebem s vymezením vůle [11]



obr. 24. V levo Duplexní pohon stolu hoblovky [11]

obr. 25. V pravo Pohón Master Slave Twin Drive (Reces) [11]

3.3. Šnek a šnekový hřeben

U vysokých hodnot převodu lze také výhodně využít princip hydrostatického šnekového hřebenu. Používá se u velkých obráběcích strojů pro pohon pracovních stolů (portálové, nebo rovinné frézky). Tento způsob má výhodu spočívající v minimálním tření a vysoké tuhosti.

Princip spočívá, že „ozubená šneková tyč je opatřena olejovými kapsami, do nichž je postupně přiváděn tlakový olej pomocí přívodů, dotlačovaných na boky ozubeného hřebenu, vždy jen do sekce kapes, které jsou v záběru se šnekem. Pohon šneku je proveden ozubením od ozubeného pastorku na hnací hřídeli spojené přímo s náhonovým motorem.“ [11]

3.4. Pastorek a ozubený řemen

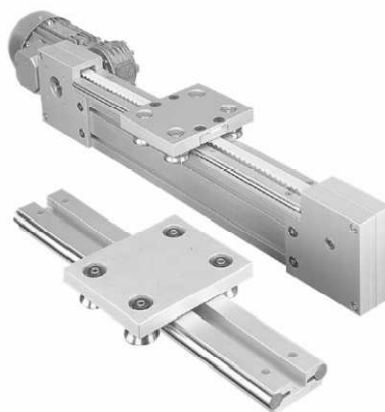
Patří mezi další způsoby, jak lze převést rotační pohyb na pohyb lineární. Používá se u jednodušších strojů, kde není velkého zatížení.

Výhody:

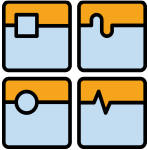
- tichý chod
- nemusí se mazat a díky tomu může být použito v náročném prostředí (prach, nečistoty)
- tlumí rázy

Nevýhody:

- nerovnoměrný chod



obr. 26. lineární vodící systém pomocí pastorku a ozubeného řemene[18]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 24
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

4. Vedení

Vedení je systém vodicích ploch na stroji, na nichž se stýkají pohyblivé části stroje. Tato soustava musí zabezpečit pohyb uzlů stroje po geometricky přesných drahách, přičemž musí splňovat dvě základní funkce. Zabezpečit polohu nebo určitý relativní pohyb mezi pevnou a pohyblivou částí stroje a přenést zatížení z jednoho dílu na druhý.

„Požadavky při konstrukci obráběcích strojů na vodicí plochy :“

- vedení má vykazovat vysokou statickou a dynamickou tuhost
- vedení musí být vyrobeno s takovou přesností, aby odchylky dráhy pohybu od ideálního tvaru dráhy byly v přijatelných mezích, daných požadovanou přesností práce stroje (minimální možnost vůlí, malé pasivní odpory)
- přesnost vedení dosažená při výrobě má být co možná nejdéle zachována. Proto musí být vedení odolné proti opotřebení (volba vhodného materiálu, případně následné jeho tepelné zpracování)
- možnost vymezení vůle vzniklé opotřebením za provozu
- výborná jakost povrchu
- ochrana proti vnikání prachu
- mazání, aby ztráty pohybu a opotřebení byly co nejmenší
- jednoduchý tvar se zřetelem na snadnou výrobu“ [11]

Typy vedení:

- Podle typu dráhy
 - přímočará
 - v rovině
- podle typu tření
 - kluzné
 - valivé
 - kombinované

4.1. Kluzná vedení

Kluzná vedení se používají ve dvou variantách podle třecích poměrů.

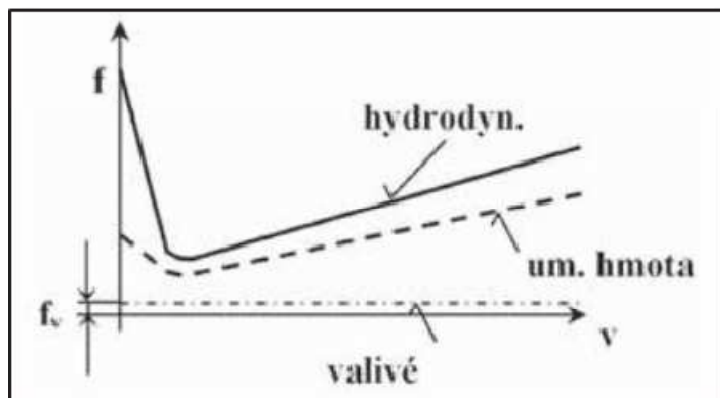
- Hydrodynamické (otevřené)
- Hydrostatické (otevřené, uzavřené, servostatické)

4.1.1. Hydrodynamické vedení

„Při použití kluzného vedení může být jakost práce podstatně snižována nestabilitou pohybu, zejména pak u hydrodynamického typu. Nestabilita se projevuje ve dvou variantách.

- Nerovnoměrný trhavý pohyb (horší jakost povrchu)
- Necitlivost (znemožnění nastavení nástroje vůči obrobku)

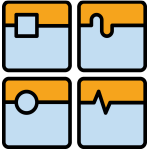
Při trhavých pohybech musí saně, které jsou v klidu, překonat odpor tření za klidu. Jakmile jsou saně v pohybu, je součinitel tření roven součiniteli tření v pohybu. Posuvový mechanismus však není dokonale tuhý a přebytek hnací síly je příčinou vzniku poskoku. Trhavý pohyb je však výsledkem kombinací poklesu součinitele tření a poddajnosti posuvového mechanismu.“



obr. 27. Závislost součinitele tření na rychlosti [11]

Pokud chceme poskoky zcela odstranit, lze využít hydrostatického (kapalinného) tření. Tím docílíme příznivého součinitele tření jak za klidu, tak i za pohybu.

Zmírnění a někdy i odstranění trhavých pohybů u hydrodynamického vedení docílíme díky pomoci speciálních aditivovaných mazacích olejů nebo obkládáním vodících ploch umělými hmotami – například Biplast, Gamapest.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 26
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Hydrodynamické vedení získalo svůj název z faktu, že přiváděný mazací olej mezi pohyblivé části vedení vytvoří mazací film až za pohybu, kdy vzniknou podmínky hydrodynamického mazání. Při konstrukci tohoto typu vedení je nutné věnovat hlavní pozornost zejména volbě materiálu vodicích ploch. Díky této volbě a splnění dalších podmínek jako je mazání a ochrana vodicích ploch se dosáhne zachování počáteční přesnosti vedení. [11]

4.1.2. Hydrostatické vedení

spočívá na principu, kde se mezi ložem a vedením posuvové soustavy utvoří mikrofilm olejové vrstvy. Díky tomu., že posunová vrstva v podstatě plave na této vrstvě oleje, tak je zaručena stálá přesnost pohybu, vysoká únosnost, tuhost, tlumení a minimální pasivní odpor proti pohybu. Velice často se používají u přesných CNC strojů

Volba materiálu vodicích ploch

Odolnost vodicích ploch proti opotřebení závisí zejména na chemickém složení, fyzikálně mechanických vlastnostech materiálu vedení a na materiálu sdrúžených ploch, na drsnosti povrchu kluzkých ploch. Tvrdost materiálu však není zárukou velké odolnosti proti opotřebení. Za jinak stejných podmínek se dvě sdrúžené plochy opotřebovávají méně, jsou-li jejich tvrdosti rozdílné. Jsou-li stejně tvrdé, mohou se zadírat zvlášť při vyšších měrných tlacích a malých rychlostech pohybu. Pokud se přihlédne ke skutečnosti, že se tvrdší plocha obvykle opotřebovává pomaleji, volí se vždy důležitější a delší plocha tvrdší.

„Odolnost proti opotřebení je tedy všeobecně u tvrdých materiálů (ocel) vyšší než u měkkých (litina). To je však podmíněno utěsněním proti nečistotám – v opačném případě je naopak opotřebení tvrdších materiálů vyšší. Nejvýhodnější je kombinace jedné tvrdší a druhé měkčí plochy. Prvořadý význam má dobré utěsnění vodicích ploch.“ [11]

Tedy jako materiál se pro základní kinematickou dvojici pracovní stůl a lože využívají materiály podle (tab. 2)

Materiál vodících ploch		Největší dov. měrný tlak p [MPa]	Součinitel tření f	Oblast využití
kratší plochy – stůl	delší plochy – lože			
šedá litina	šedá litina (+20 HB)	2 až 3	0,1 ... 0,15	stoly a suporty soustruhů, frézek apod.
		0,15 až 0,8	0,06 ... 0,1	stoly hoblovek (nižší hodnota p pro velké rychlosti)
		0,005 až 0,1	0,06 ... 0,1	stoly brusek apod.
	litina povrchově kalená (48 – 53 HRC) ocelové kalené lišty (60 – 63 HRC)	2,5 ... 3, 5	0,1 ... 0,15	stoly a suporty os s vyšší odolností proti opotřebení
umělá hmota	šedá litina	0,35 ... 0,8	0,02 ... 0,06	stoly a suporty os s menším třením

tab. 2. Materiály vodících ploch[11]

Charakter jednotlivých druhů materiálu

Šedá litina

Využívá se jakostní šedá litina. Pro docílení vyšší tvrdosti než mají vodící plochy.

Lože je odlévané. Vedení je umístěné dole a obložené chladítky.

Kalená šedá litina

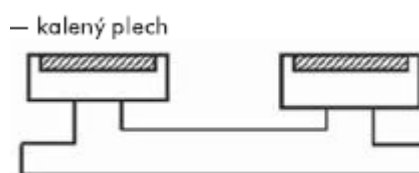
Je používána pro výrazná zvýšení tvrdosti vodících ploch. Využívá se povrchové kalení hloubky od 2 do 3 mm.



obr. 28. Lože z kalené masivní lišty [11]

Kalená ocel

Má vyšší tvrdost i odolnost oproti opotřebení. Vedení tvoří lišty přišroubované nebo lepené na profil lože.



obr. 29. Lože z kalené oceli [11]

Plasty různého složení

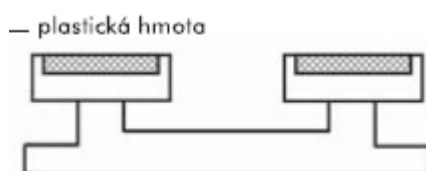
Výhodou plastového vedení je výborné třecí vlastnosti, nemožnost zadření, sdružená plocha z kovu se opotřebovává pouze nepatrně. Oprava plastových plosek, které jsou přišroubované, nebo přilepené, je velmi jednoduchá.

Metaloplast

Bronzová tkanina (síťka), na níž je naválcovaný teflon tloušťky 0.5 mm se součinitelem tření v klidu $f_0=0.13$

Turcit

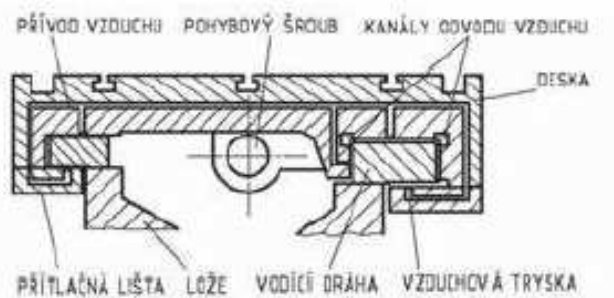
Plast, který po zaschnutí vytvoří dokonale hladký povrch s nízkým součinitelem tření. Připevňuje se převážně lepením. Dodává se v pásech o tloušťce 2 až 3.3 mm se součinitelem tření v klidu $f_0=0.06$



obr. 30. Lože z plastu [5]

4.1.3. Aerostatické vedení

U aerostatického vedení se používá místo kapaliny stlačený vzduch. Na obrázku 27 je jedna z možností řešení aerostatického vedení. Vzduchové uložení je oproti hydrostatickému uložení méně tuhé. Proto se používá převážně u menších přesných strojů. Například u měřicích automatů. Hlavní výhodou je čisté pracovní prostředí, protože odpadá zpětný odvod vzduchu. [11]



obr. 31. Aerostatické vedení [11]

4.2. Valivé vedení

Vyznačuje se nároky na dokonalou plynulost posuvových pohybů i u velmi krátkých drah při najíždění na požadovaný rozměr. Oproti kluznému hydrodynamickému vedení

Valivé vedení se používá u středně těžkých nepřesnějších strojů. Přednost tohoto vedení je obdobná jako u valivých ložisek.

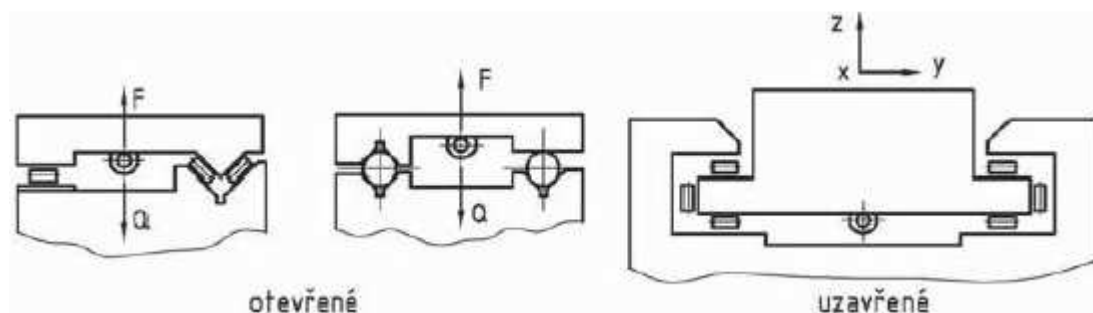
typy valivého vedení se dělí

- s omezenou délkou zdvihu
- s neomezenou délkou zdvihu

S omezenou délkou zdvihu

Princip vedení s neomezenou délkou je na obr. 31. Zdvih stolu je omezen, neboť klec s valivými prvky vykoná zdvih rovný polovině pracovního zdvihu. Některé typy často používaných valivých vedení s neomezenou délkou zdvihu mohou být konstruovány jako otevřené (zachycují většinou pouze axiální síly). Uzavřené vedení je vždy předepnuté a má omezenou schopnost přenášet libovolné zatížení [11]

Válečkové vedení má nejčastější použití pro dobrou tuhost a přesnost. Jehlová vedení se užívá jako provedení s prizmatickým vedením. Kuličková vedení mají menší únosnost a konstrukční provedení vyžaduje obložit plochy vedení kalenými plechy, pokud není tvořeno již hmotnými lištami. [5]

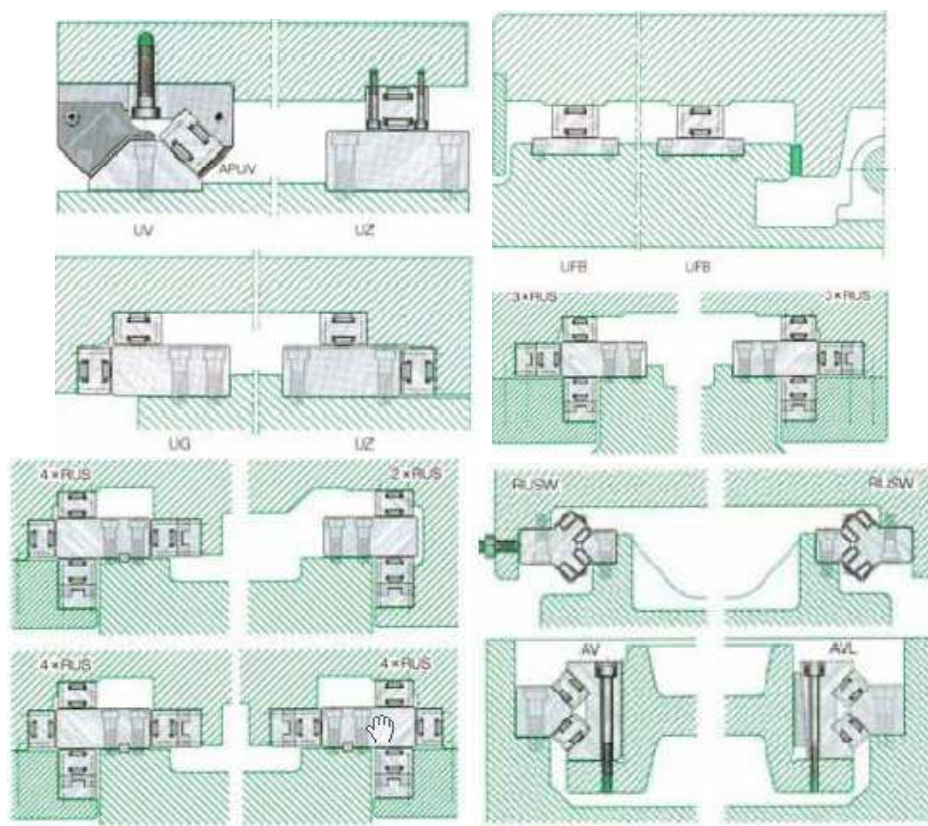


obr. 32. Konstrukce valivého uložení s omezenou délkou zdvihu[5]

S neomezenou délkou zdvihu

U tohoto typu vedení se může stůl pohybovat po celé délce lože a přenášet jmenovité zatížení.

Základním prvkem, který umožňuje teoreticky neomezenou délku zdvihu, jsou tzv. valivá hnízda (bloky). Princip je uveden na obr. 22. Určitý počet válečků vedených klecí obíhá po dráze vytvořené v tělese hnízda, které se připevní šrouby na posuvnou část. [11]



obr. 33. Princip vedení s neomezenou délkou zdvihu [11]

Vodící lišta je přišroubovaná k loži a valivé bloky jsou uloženy na posuvném stole. Pro vymezení vůle a vytvoření předpětí je vždy jeden z dvojice protilehlých valivých bloků podložen dolícovací podložkou. Dolícování může být velice přesné, neboť bloky mají vysokou tuhost. Tento způsob je značně náročný na kvalitu montáže, proto je někdy výhodné použít princip stavitelného předpětí pomocí klínové podložky posouvané šroubem. Někdy je i výhodné pro vymezení využít talířové pružiny. Ovšem mají nižší tuhost, která je dána tuhostí talířových pružin a rovněž vyžadují větší vestavný prostor.

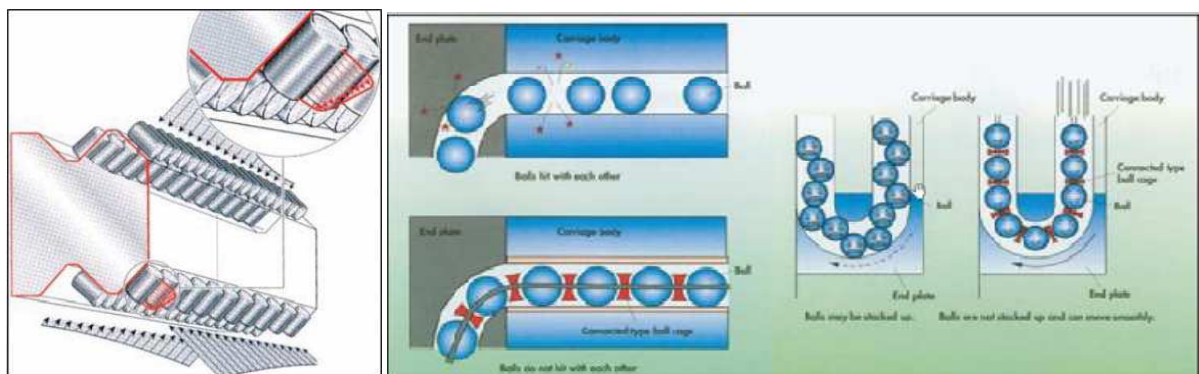
Dalším významným parametrem, kterému je třeba věnovat zvýšené pozornosti je připevnění vodících lišt, kde může v místě připojovacího šroubu docházet k porušení přímocarosti vodící plochy. K obkládání vodících ploch se používají tenkostěnné lišty, protože při použití kalených vodících lišt z jednoho kusu je velká spotřeba legované oceli.

Nevýhodou valivého vedení je malá schopnost tlumit chvění, proto byl vyvinut princip vedení s řízenými vlastnostmi, který spočívá v tom, že do vedení s valivými bloky jsou zabudovány říditelné tlumicí jednotky. Tyto tlumicí jednotky jsou ovládány řídicím systémem, který při hrubování dobře tlumí chvění (tlumicí prvky jsou pod tlakem) a při dokončování jsou tlumicí prvky vypnuty, což vede velmi malým pasivním odporům. [5].

Profilové valivé vedení je velmi progresivní způsob vedení pohyblivých částí CNC obráběcích strojů, které zaručuje velmi spolehlivé vedení pohybových skupin.

Princip profilového valivého vedení

Toto vedení je založeno na omezeném počtu valivých elementů (kuliček, válečků) po profilu kolejnice, která plní funkci lišt šroubovaných k loži. Valivé elementy obíhají uvnitř vozíku (obr. 32.) Valivé elementy (kuličky, válečky) jsou v kanálech vozíku převáděny řízeně, nebo volně jedna po druhé. V případě řízeného převádění jsou jednotlivé elementy odděleny plastovým páskem (obr.24.) [5] [2]



obr. 34. V levo princip valivého profilového vedení [11]

obr. 35. V pravo řízený převod valivých elementů [11]

Valivé elementy mohou být:

- Válečkové – vhodné pro větší silové zatížení
- Kuličkové – vhodné pro rychloběžnější aplikace

Výhody profilového valivého vedení:

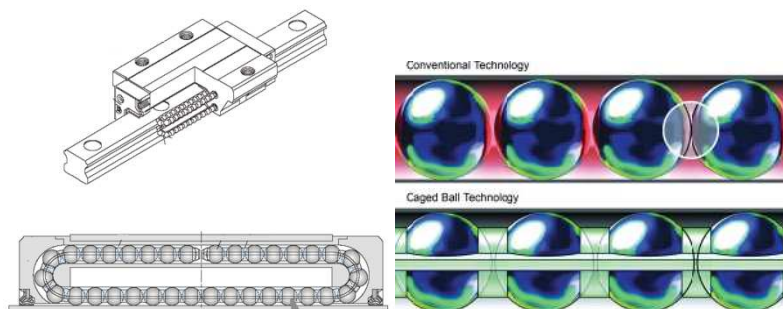
- bezvúlový chod
- vysoká přesnost polohování
- snadnější kompenzace nepřesností ustavení a nepřesností obrobení dosedacích ploch
- snadnější instalace
- vysoké posuvové rychlosti
- při správně dimenzovaném vedení minimální pružné deformace
- snadná údržba
- při návrhu dodavatelskou firmou poměrně přesný výpočet životnosti

Nevýhody profilového valivého vedení:

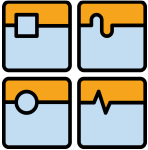
- při velkých zatíženích je nutností větší počet vozíků a kolejnic, nebo větší profil vedení

Trendy

Novinkou firmy **THK** je kuličkový recirkulační systém s plastovou klecí. Koncept je nyní využit jak u kuličkového lin. vedení, tak u kuličkových šroubů. Výhodou koncepce je potlačení hluku vznikajícího narážením ocelových elementů na sebe (obr. 1), střední hodnota pasivních odporů se však příliš nemění



obr. 36. Koncept plastové klece u lineárních vedení a kuličkových šroubů firmy THK [14]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 33
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

4.3. Kombinované

Vedení kombinované spojuje výhody a nevýhody jednotlivých druhů vedení.

V praxi se ustálili kombinace:

Na jedné pohybové souřadnici

- Kluzně valivé

Na jednom stroji

- Kluzně valivá
- Valivě hydrostatická

Kluzně valivé – používají se tam kde je nutné utlumit kmitání od zatížení z řezného procesu a přitom nezvyšovat zatížení předních a bočních lišt od klopného momentu.

[11]

5. Odměřování polohy

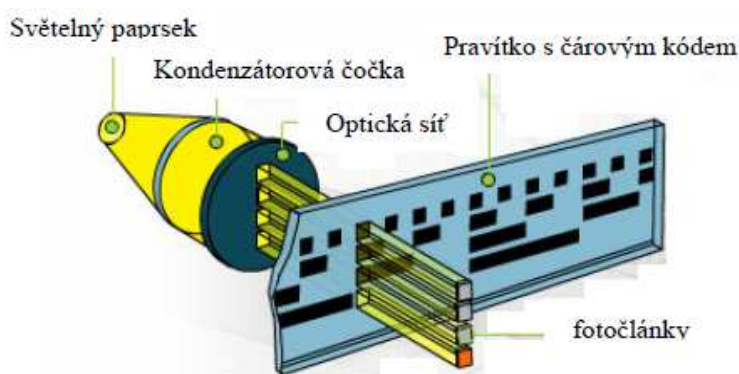
Jednoduchost a přesnost průběhu obrábění je také velmi závisle na typu odměřování polohy. Pro odměřování polohy se používají snímače polohy, na kterých závisí výsledná přesnost polohování celého stroje.

5.1. Druhy odměřovacího signálu

Druhy odměřování dělíme:

5.1.1. Fotoelektrické

Princip tohoto způsobu měření je založen na osvětlování měřícího pravítka, ve kterém jsou vytvořeny mezery a rysky. (obr 28). Světelný paprsek dopadne na pravítko, kterým prostoupí, nebo je pohlcen. Za pravítkem je umístěn fotosnímač indukující elektrické signály podle dopadu světla.



obr. 37. fotoelektrický princip měření [8].

5.1.2. Induktivní

Tyto snímače jsou založeny na vzájemném působení mezi kovovými vodiči a střídavým elektromagnetickým polem. V kovovém snímaném tlumícím materiálu jsou indukovány vířivé proudy, které odebírají energii z pole a snižují velikost oscilační amplitudy. Tato změna je indukčním snímačem vyhodnocena a udává informace o poloze.

5.1.3. Magnetické

Tato metoda se využívá pro určení polohy pístů u pneumatických válců. Pro její bezdotykové snímání nedochází k žádnému opotřebení. Této metody lze využít pro snímání polohy přes feromagnetické překážky jako jsou měď, mosaz, hliník. Dalšími výhodami magnetických lineárních snímačů je jejich odolnost vůči vodě, olejům, prachu. Při vhodném výběru snímacího magnetu, lze dosáhnout velmi dlouhých spínacích vzdáleností. [18]

5.1.4. Laserové

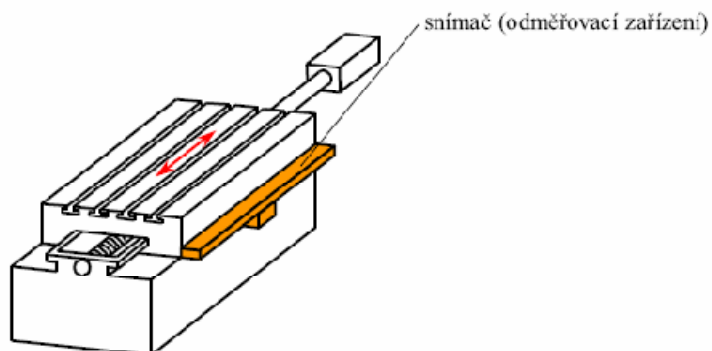
Laserové odměřování polohy funguje na principu Dopplerova metru. Laserový snímač pracuje s vysokou přesností. Nevýhodou je že musíme velice dobře zabezpečit prostor mezi zdrojem snímače a zrcátkem od nečistot.

5.2. Způsoby odměřování

Odměřování lze rozdělit na dvě základní skupiny kdy první odměřování je přímé a druhé nepřímé

5.2.1. Odměřování přímé

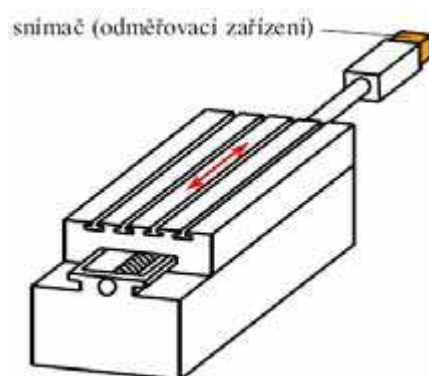
Lineární snímače, které snímají skutečnou polohu obráběcího CNC stroje, se nazývají přímé. Jezdec pravítka je spojen s pohybující se částí posuvové souřadnice.



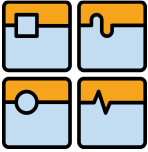
obr. 38. princip přímého odměřování [11].

5.2.2. Odměřování polohy nepřímé

Dráha posuvu se neměří přímo. Tato poloha je přepočítávaná ze změřeného úhlu natočení a například stoupání šroubu (obr. 36). Tyto snímače jsou oproti přímým levnější, protože nejsou tak přesné. Ovlivňuje je teplotní dilatace jednotlivých uzlů.



obr. 39. princip nepřímého odměřování [11].

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 37
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

6. Krytování

Krytování je nedílnou složkou každého stroje. Zabraňuje pronikání třísek a chladicí kapaliny do prostoru pohonů. Také musí mít malou hmotnost a malé pasivní odpory, aby nebyla ovlivněna dynamika os. Kryty také nesmí zabírat mnoho prostoru. Velkým problémem je tomu převážně u malých strojů. [11]

Základní rozdělení krytování:

6.1. Rolety a zástěny

Tento způsob se využívá pro vysoké rychlosti. Mezi hlavní výhody patří jednoduchá instalace a prostorová nenáročnost. Nevýhodou je potřeba těsnit bok vysouvající se rolety. [5].

6.2. Teleskopické kryty

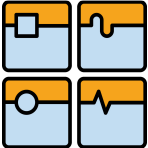
Toto krytování je jednou z nejefektivnějších metod. Používá se u strojů kde se vyskytují ostré kovové třísky nebo piliny s vysokou teplotou [11].

6.3. Krycí měchy

Krycí měchy jsou jednoduchým a cenově příznivým řešením pro rozmanité použití v oblasti ochrany pohyblivých částí, především v omezeném prostoru. [11].

6.4. Spirálové krytování

Využívá se pro ochranu kuličkových šroubů, před těžkými předměty a hrubými třískami. [11].

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 38
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

7. Mazání

Konkrétní způsob mazání je závislý na zatížení, provozních podmínkách a prostředí.

základními podmínkami

- Volba typu mazání
- vhodné umístění provozování
- dosažení kladného ekonomického efektu při jeho využívání.

Stále se zvyšující technická úroveň strojů a strojních zařízení a snaha dosáhnout co nejvyšší ekonomičnosti a ekologičnosti jejich provozu jsou hlavními motivy výrobců i uživatelů používat co nejdokonalejší typ mazání.

7.1. Mazání olejem

Oleje určené pro mazání se jednodušeji dostávají k třecím místům než tuky. Lépe odvádí teplo. Ovšem oleje díky své tíze stékají a usazují se dole a snadněji vytékají než mazací tuky.

Mazání olejem se dále dělí:

S nuceným oběhem

U tohoto případu mazání je důležitým faktorem otáčkové číslo.

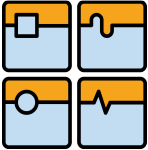
Ztrátové

Drahý, ale ke strojům velmi šetrný způsob mazání, kdy se mezi mazané plochy přivádí nový čistý olej. Oleje se používá jen nezbytné množství. Odtékající olej je ale natolik znečištěn, že se už dále nepoužívá.

<http://mve.energetika.cz/uvod/slovnicek.htm>

Enviromentální

V poslední době se tento způsob mazání začíná využívat stále častěji, protože je šetrné k životnímu prostředí.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 39
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Olejová mlha

Do proudícího tlakového vzduchu se přísává olej a vytváří olejovou mlhu, která je přiváděna k mazaným místům

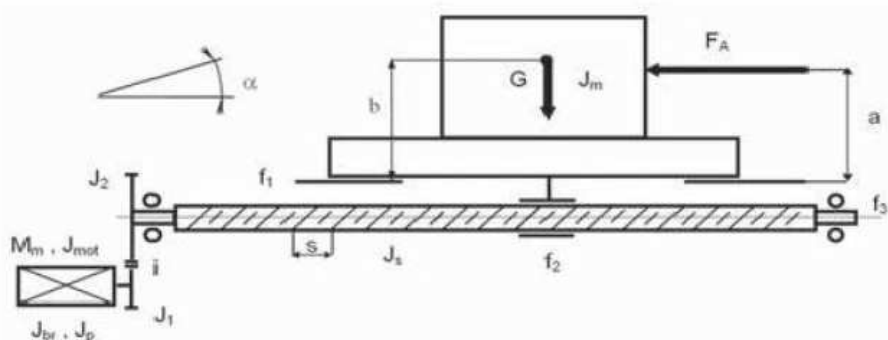
7.2. Mazání tukem

Mazací tuky působí po celou dobu a přímo v místě kontaktů ploch a dovolují dlouhé intervaly mazání. [11]



8. Základní výpočty pro návrh lineární posuvové soustavy

Tato kapitola vychází ze zdroje [11]



- F_A – požadovaná axiální síla [N]
 G – tíhová síla [N]
 M_m – moment AC servopohonu [Nm]
 J_m – moment setrvačnosti kotvy rotoru AC servopohonu [kgm²]
 J_{br} – moment setrvačnosti brzdy AC servopohonu [kgm²]
 J_p – moment setrvačnosti převodovky na motoru [kgm²]
 J_1 – moment setrvačnosti hrací řemenice (pastorku) [kgm²]
 J_2 – moment setrvačnosti hnací řemenice (kola) [kgm²]
 J_s – moment setrvačnosti kuličkového šroubu [kgm²]
 J_m – redukovaný moment setrvačnosti posuvných hmot [kgm²]
 a – rameno působíště osové síly [m]
 f_1 – součinitel tření ve vodicích plochách [–] pro valivé vedení $f_1 = 0,005$, pro kluzné vedení $f_1 = 0,08$ (obloženo TURCITEM),
 $f_1 = 0,15$ (ocelové kalené lišty – litina)
 f_2 – ekvivalentní součinitel tření v KŠM redukovaný na poloměr šroubu [–] $f_2 = 0,003$
 f_3 – ekvival. součinitel tření redukovaný na poloměr čepu [–] $f_3 = 0,003$
 i – převodový poměr [–], pro přímý ráhon $i = 1$
 s – stoupání kuličkového šroubu [m]
 α – úhel sklonu vedení [o]

obr. 40. Posuvová souřadnice

Potřebný moment motoru

$$M_m = \frac{F_A \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_P \cdot \eta_L^j} + M_{zsrhm}$$

η_C – celková účinnost posuvové soustavy [–]

$$\eta_C = \eta_S \cdot \eta_V \cdot \eta_L^j \cdot \eta_P$$

η_S = účinnost KŠM, $\eta_S = 0,92$

η_V = účinnost vedení,

kluzné: $\eta_V = 0,8$,

valivé: $\eta_V = 0,98$

η_L – účinnost jednoho ložiska kuličkového

$$\eta_L = 0,99$$

η_L – účinnost jednoho ložiska válečkového

$$\eta_L = 0,95$$

i = počet valivých ložisek

v kuličkových ložiskách $\eta_L^j = 0,97$

oboustranné uložení $\eta_L^j = 0,92$

ve válečkových ložiskách $\eta_L^j = 0,95$

oboustranné uložení $\eta_L^j = 0,90$

η_P – účinnost převodu

ozubené kolo: $\eta_P = 0,96$

ozubený řemen: $\eta_P = 0,99$

M_{zdrhm} – moment zátěže redukováný na hřídel motoru

Moment zátěže M_{zdrhm} se skládá z následujících složek:

Při skloněném vedení působí moment od tíhové složky

$$M_{GT} = \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_C}$$

g – tíhové zrychlení

$$g = 9,82 \text{ ms}^{-2}$$

Moment zátěže od třecích sil přesouvaných hmot

$$M_G = \frac{m \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_S \cdot \eta_L^j \cdot \eta_P}$$

Moment zátěže od třecích sil v ložisku a předepnutí kuličkového šroubu

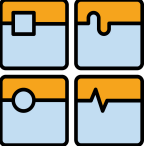
$$M_L = \frac{0,5 \cdot (F_A + g \cdot m \cdot \cos \alpha \cdot f_1) \cdot d_L \cdot f_3}{i \cdot \eta_P}$$

$$M_{KŠM} = \frac{F_P \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_P \cdot \eta_L^j} \cdot (1 - \eta_s^2) + \frac{0,5 \cdot (F_A + g \cdot m \cdot \cos \alpha \cdot f_1) \cdot d_S \cdot f_2}{i \cdot \eta_P \cdot \eta_L^j}$$

d_L – průměr hřídele pro ložisko[m]

d_S – střední průměr KŠM[m]

F_P – předepnutí kuličkového šroubu[N]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 42
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Moment zatížení od vyosení axiální síly

$$m \cdot g \leq \frac{6 \cdot F_A \cdot a}{L}$$

L – délka stolu[m]

Při určování třecí síly vznikající v kluzném vedení je nutno rozlišit dva stavy

1. úhle sklonu vedení $\{0^\circ, < 90^\circ\}$

$$F_{TV} = \left(\frac{3 \cdot F_A \cdot a}{L} \right) \cdot f_1 + m \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos \alpha$$

2. úhel sklonu vedení $\alpha = 90^\circ$

$$F_{TS} = \frac{3 \cdot (m \cdot g \cdot b + F_A \cdot a) \cdot f_1}{L}$$

b – vzdálenost těžiště přesouvané hmoty od svislého vedení[m]

Pro redukci těchto sil na hřídel motoru můžeme psát

$$M_F = \frac{F_{TV} \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_S \cdot \eta_L^j \cdot \eta_P}$$

Pro $\alpha = \{0^\circ, < 90^\circ\}$

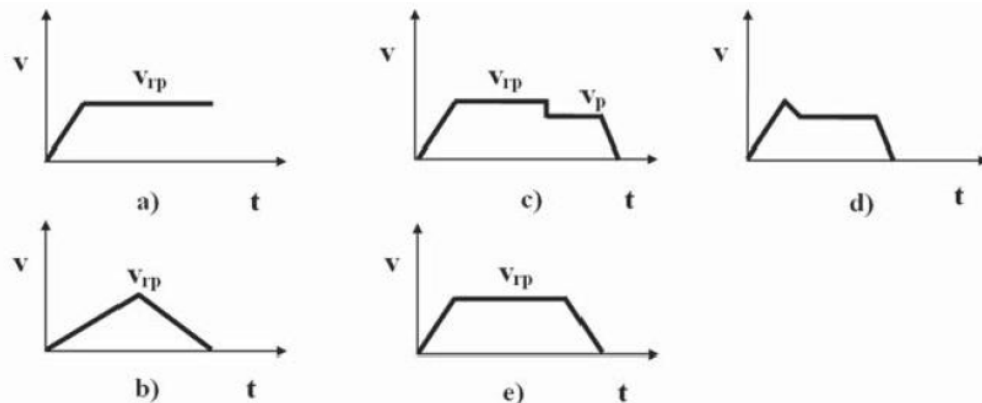
$$M_F = \frac{F_{TS} \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_S \cdot \eta_L^j \cdot \eta_P}$$

Pro $\alpha = 90^\circ$

Celkový statický moment zátěže redukovaný na hřídel motoru je roven součtu předcházejících vztahů

$$M_{zdrhm} = M_{GT} + M_G + M_L + M_{GT} + M_{KSM} + M_F$$

Při obrábění se vyskytují následující pracovní cykly, které může posuvový mechanismus vykonávat (obr. 41)



obr. 41. Možné pracovní cykly posuvového mechanismu

Pro celkovou dráhu pohybu jednoduchého uzavřeného cyklu (obr. 41a, b) lze psát

$$s_c = s_r + s_b + s_z$$

s_c – celková dráha[m]

Obdobně pro čas

$$T = t_r + t_b + t_z$$

T – celkový čas[s]

Indexy značí

r – rozběh

b – běh

z – zpomalení

Rychlost v_{rp} , na niž je nutné stůl rozběhnout, abychom urazili celkovou dráhu s , za čas T při uvažování procentuálního podílu x (x_1, x_2) z celkového času (cyklus e)

$$v_{rp} = \frac{s_c + \frac{1}{2} \cdot v_p \cdot T \cdot x_2}{T \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot x_1 - \frac{1}{2} \cdot x_2\right)}$$

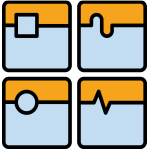
Z tohoto vztahu je konstanta x_1, x_2 procentuálním podílem doby rozběhu z celkového času T

Lineární zrychlení stolu a celkový čas lze určit ze vztahu

$$a = \frac{v_{rp}}{t_r} = \frac{v_{rp}}{T \cdot x}$$

Vztah mezi lineárním zrychlením stolu a úhlovým zrychlením šroubu a motoru

$$\varepsilon_s = \frac{a \cdot 2 \cdot \pi}{s}$$

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 44
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Podobně pro motor

$$\varepsilon_m = \varepsilon_s \cdot i$$

ε_s – úhlové zrychlení šroubu [rads^{-2}]

ε_m – úhlové zrychlení motoru [rads^{-2}]

Pro pohon lze odvodit podmínku rozhodující o tom, zda vůbec bude dosaženo požadované rychlosti v závislosti na dráze a času.

$$s_c \geq \frac{v_{rp}^2}{a}$$

Pak je doba běhu

$$T = \frac{s_c}{v_{rp}} + \frac{v_{rp}}{a}$$

V případě že je dráha tak krátká, že se pohon s kuličkovým šroubem nestačí rozběhnout na požadovanou rychlost, platí

$$s_c \leq \frac{v_{rp}^2}{a}$$

Pak je doba běhu

$$T = 2 \cdot \sqrt{\frac{s_c}{a}}$$

a – lineární zrychlení stolu [ms^{-2}]

v_{rp} – rychlost rovnoměrného pohybu [ms^{-1}]

s_c – celková dráha běhu [m]

Momentová rovnice určující potřebnou velikost momentu motoru má při konstantním momentu setrvačnosti J_{rhm} a moment zátěže M_{zdrhm} redukováném na hřídel motoru tvar

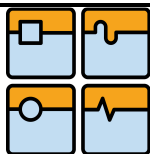
$$M_m = J_{rhm} \cdot \varepsilon_m + M_{zdrhm}$$

Moment zátěže M_{zdrhm} se skládá ze dvou složek

Při uvažování skloněné posuvové souřadnice dochází vlivem gravitačních sil k zatěžování pohonu vlivem složek momentů od přesouvaných hmot

$$M_{GT} = \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_c}$$

Moment pasivních odporů v matici kuličkového šroubu a v ložiskách jeho uložení při rozběhu jsou tvořeny působením axiální třecí síly ve vedení. Tato třecí síla působí v ose šroubu ztrátový moment



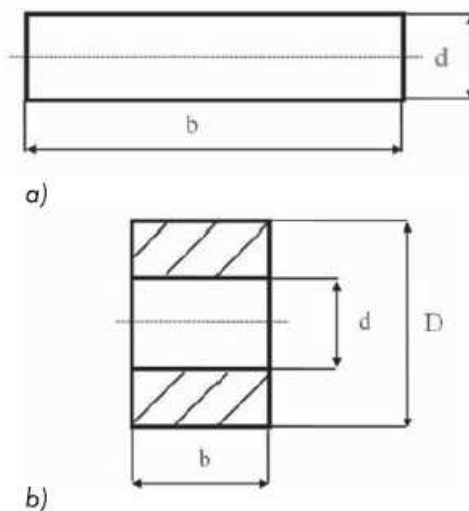
$$M_G = \frac{m \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_s \cdot \eta_L^j \cdot \eta_P}$$

$$M_{KSM} = \frac{F_P \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_P \cdot \eta_L^j} \cdot (1 - \eta_s^2) + \frac{0,5 \cdot m \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \cdot d_s \cdot f_2}{i \cdot \eta_P \cdot \eta_L^j}$$

Celkový moment zátěže redukovaný na hřídel motoru M_{zdrhm} je roven součtu předcházejících vztahů

$$M_{zdrhm} = M_{GT} + M_G + M_{KSM}$$

Moment setrvačnosti charakterizuje rozložení hmotnosti tělesa v prostoru. Při rozbíhání pohonu je nutné, aby pohon urychlil právě všechny tyto hmoty (obr. 42)



obr. 42. Geometrie dutého a plného válce

Pro těleso dle obr. 42a) je moment setrvačnosti dán

$$J = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 7830 \cdot b \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^4$$

Pro těleso dle obr. 42b)

$$J = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 7830 \cdot b \cdot \left[\left(\frac{D}{2}\right)^4 - \left(\frac{d}{2}\right)^4 \right]$$

Posuvové hmoty je nutné redukovat do osy šroubu na myšlené rotační hmoty dle vztahu

$$J_m = m \cdot \left(\frac{s}{2 \cdot \pi}\right)^2$$

m – celková přesouvá hmotnost[kg]

Celkový moment setrvačnosti redukovaný na hřídel motoru

$$J_{rhm} = J_{mot} + J_{br} + J_p + J_1 + \frac{J_2}{i^2} + \frac{J_s}{i^2} + \frac{J_m}{i^2}$$

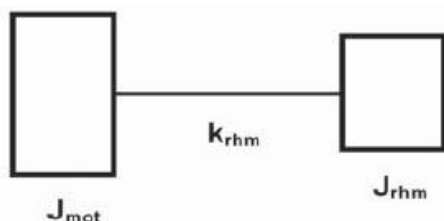
J_p – moment setrvačnosti převodovky na motoru [$kg \cdot m^2$]

Hmoty i tuhosti redukuje na příslušnou část posuvového mechanismu.

Torzní model (obr. 43) nemodeluje dostatečně přesně posuvový mechanismus.

Vlastní mechanická frekvence je dána

$$J_{mech} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{k_{rhm} \left(\frac{1}{J_{mot}} + \frac{1}{J_{rhm}} \right)}$$



obr. 43. Dvuhmotová kmitající soustava

Nejvýhodnější je torzně-translační model. První mechanickou frekvenci, která je dána translační částí mechanismu, určíme ze vztahu

$$f_{mech} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k_{sr} \cdot k_{MAT}}{k_{sr} + k_{MAT} \cdot \frac{1}{m_{sr} + m}}}$$

k_{sr} – tuhost šroubu [Nm^{-1}]

k_{MAT} – tuhost matice [Nm^{-1}]

m_{sr} – hmota šroubu [kg]

m – přesouvaná hmota [kg]

Všeobecný závěr:

Doba rozběhu motoru:

$$t_r = \frac{J_{rhm} \cdot (2 \cdot \pi \cdot n_m)}{(M_m - M_{zdrhm}) \cdot \eta_c}$$

$$n_m = \frac{v \cdot i}{s}$$

M_m – známá velikost momentu motoru [N_m]

M_{zdrhm} – moment zátěže redukováný na hřídel motoru

η_c – celková účinnost

J_{rhm} – moment setrvačnosti redukovaný na hřídel motoru [kgm^2]

n_m – otáčky motoru na, na které je rozbíháno [s^{-1}]

Z tohoto času lze stanovit dráhu uraženou při rozběhu

$$s_r = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_r^2 = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t_r$$

Celkovou účinnost náhonové soustavy nemusíme stanovovat na základě prvního vzorce pro pohon servopohonu, ale lze ji určit jako podíl práce odvedené ku práci přivedené. V souladu s označením dle obr. 40

$$\eta_c = \frac{F_A \cdot s}{F_A \cdot s + (G \cdot f_1 + F_T) \cdot s + (G \cdot f_1 + F_A + F_T) \pi \cdot d_s \cdot f_2 + (G \cdot f_1 + F_A + F_T) \pi \cdot d_L \cdot f_3}$$

F_T – třecí síly ve vedení vlivem vyložení axiální síly

d_s – jmenovitý průměr kuličkového šroubu [m]

d_L – průměr ložisek uložení kuličkového šroubu [m]

$$\alpha = \{0^\circ, < 90^\circ\}$$

$$m = \frac{M_m - J_{rhm} \cdot \varepsilon_m}{\left[\left(\frac{s}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{\varepsilon_m}{i^2} + \frac{g \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \cdot s}{2\pi \cdot i \cdot \eta_s \cdot \eta_p} + \frac{g \cdot f_3 \cdot \cos \alpha \cdot d_L}{i \cdot \eta_s} + \frac{g \cdot \sin \alpha \cdot s}{2\pi \cdot i \cdot \eta_s \cdot \eta_p} \right]}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$m = \frac{M_m - J_{rhm} \cdot \varepsilon_m}{\left[\left(\frac{s}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{\varepsilon_m}{i^2} + \frac{3 \cdot g \cdot f_1 \cdot b \cdot s}{2\pi \cdot i \cdot L \cdot \eta_s \cdot \eta_p} + \frac{g \cdot f_3 \cdot \cos \alpha \cdot d_L}{i \cdot \eta_s} + \frac{g \cdot \sin \alpha \cdot s}{2\pi \cdot i \cdot \eta_s \cdot \eta_p} \right]}$$

J_{rhm} – red. moment setrvačnosti na hřídeli motoru bez přesouvaných hmot [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]

η_s, η_p – účinnosti vedení sklonu a převodu [–]

g – tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

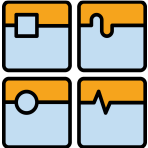
α – úhel sklonu vedení [$^\circ$]

f_1 – součinitel tření ve vedení [–]

f_3 – součinitel tření v ložiskách [–]

d_L – průměr ložiskového šroubu [m]

b – vzdálenost těžiště přesouvané hmoty od svislého vedení [m]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 48
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

9. Závěr

Cílem práce bylo provést souhrn poznatků z oblasti lineárních posuvových soustav používaných ve stavbě obráběcích strojů.

Na lineární posuvovou soustavu jsou kladeny následující všeobecné požadavky: správný chod stroje, vysoká tuhost, velký regulační rozsah, přijatelná dynamika, kinematika, přenos signálu a kvalitní regulace. Důležitým faktorem je také pracovní pozice stroje. Konstruktor musí správně zvolit všechny tyto typy požadavků.

Dále byl v práci proveden přehled základních výpočtů potřebných pro návrh lineární posuvové soustavy.

10. Seznam použitých zdrojů

[1] *Adremo technologies* [online]. 2007 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW:

<<http://www.adremot.cz/>>.

[2] *Baumüller* [online]. 2005 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW:

<http://baumuller.sk/>>.

[3] BRODSKÝ, V. *Obráběcí stroje*. Brno : VUT, 1992. 216 s.

[4] BRODSKÝ, V. *Základy stavby obráběcích strojů*. Brno : VUT, 1992. 214 s.

[5] *Bryol* [online]. 2010 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW: <www.bryol.cz>.

[6] *Display Research Laboratory* [online]. 2004 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW:

<<http://www.displayresearch.com/>>.

[7] *FANUC* [online]. 2010 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW:

<<http://www.fanuccnc.cz/>>.

[8] *HEIDENHAIN* [online]. 2010 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW:

<http://www.heidenhain.cz/>

[9] *HITECH CR* [online]. 1998 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW:

<<http://www.hytech.cz/>>.

[10] *HIWIN* [online]. 2010 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW: <www.hiwin.cz>.

[11] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů* [online], 1.vydání 2006. 284 s

[12] *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2006 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW:

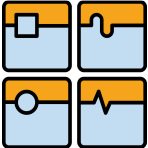
<<http://www.mmspektrum.com/>>.

[13] *NORD DRIVESYSTEMS* [online]. 2010 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW:

<<http://www2.nord.com/>>.

[14] *Obráběcí stroje a technologie na EMO Milano 2009*. Praha : ČVUT, 2010. 210 s.

[15] ONDRUŠEK, Čestmír. *Elektrické stroje*. Brno : VUT, 2004. 79 s.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 50
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

[16] *OPIS* [online]. 1996 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.opis.cz/>>.

[17] *Pavel Lasák* [online]. 2005 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW:
<<http://pavel.lasakovi.com/>>.

[18] *SIEMENS* [online]. 2006 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW:
<www.siemens.cz>.

[19] SKALICKÝ, Jiří . *Elektrické regulované pohony*. Brno : FEKT VUT, 2007. 123 s.

[20] *SKF* [online]. 2008 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW: <www.skf.cz>.

[21] *SMC* [online]. 2008 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://smc.cz/>>.